

нологии: Республ. межведом. сб. научн. тр. / ПК ООО «Бестпринт», 1999. – Вып. 2. – С. 117–119.

4. **Кашицин, Л.П.** Технология центробежного нанесения покрытий с использованием внутреннего индуктора ТВЧ / Л.П. Кашицин, [и др.] // Сварка и родственные технологии: Республ. межведом. сб. научн. тр. / редкол.: В.К. Шелег [и др.]. – Минск: Тонпик, 2005. – Вып. 7. – С. 53–62.

УДК 669.041

**Т.Н. СИНИЧЕНКО (БНТУ)**

## **НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

В Республике Беларусь собственные запасы топливно-энергетических ресурсов ограничены, и необходимость их импортирования делает экономику зависимой от внешних поставщиков и уязвимой по отношению к резким колебаниям цен на энергоресурсы. При этом энергоемкость внутреннего валового продукта в Беларуси в полтора-два раза выше, чем в развитых государствах со сходными климатическими условиями и структурой экономики. Высока и материалоемкость выпускаемой продукции, недостаточно полно используются вторичные ресурсы и отходы производства [1]. В этих условиях проблема энерго- и ресурсосбережения становится одной из первоочередных и актуальных.

В суммарном потреблении топливно-энергетических ресурсов промышленным комплексом Республики Беларусь доля термических и химико-термических производств составляет свыше 10 %. Оборудование в термическом производстве на большинстве предприятий республики не отвечает современным требованиям. В большинстве своем оно морально и физически устарело, имеет высокую энергоемкость (таблица 1).

В этих условиях Правительством Республики Беларусь проводится энергетическая политика, направленная на модернизацию и трансформацию топливно-энергетического комплекса, снижение энергоемкости всех видов продукции, разработку и внедрение но-

вых ресурсо- и энергосберегающих технологий термической обработки.

Таблица 1 – Характеристика термического производства на предприятиях Министерства промышленности [1]

Наименование показателей	Единица измерения	Величина
Количество термических цехов и участков	шт.	172
Суммарная годовая производственная мощность термических цехов	тыс. т	710 000
Номенклатура деталей, подвергаемых термообработке: – количество наименований деталей – единичная масса деталей (min/max)	наим. кг	1750 0,02/1000
Расход энергоносителей на термообработку 1т продукции (в Республике Беларусь/мировой опыт): – природный газ – электроэнергия	м <sup>3</sup> кВт·ч	147/75 59,3/30,1
Доля объемов термообработки, производимой с использованием современных технологий	%	15

На машиностроительных, станко- и приборостроительных предприятиях Министерства промышленности применяются следующие виды термической обработки:

- нормализация, высокий отпуск, улучшение (закалка + высокий отпуск) в заготовительных производствах;
- химико-термическая обработка (цементация, нитроцементация газовая, цианирование в расплаве солей, азотирование газовое, азотирование ионное в вакууме);
- объемная термообработка (нормализация, закалка + высокий отпуск, закалка + средний и низкий отпуск, отжиг, старение);
- поверхностное упрочение с применением нагрева ТВЧ (машинные и ламповые генераторы);

- обработка в вакууме (отжиг, закалка, отпуск, ионное азотирование).

Проведенный анализ [2] показывает, что в кузнечном производстве ОАО «МАЗ» термической обработке подвергаются все поковки с общим годовым объемом 9 750 т. Применяются следующие виды термической обработки поковок (рисунок 1): нормализация и улучшение. В сумме эти два вида термообработки составляют почти 72,6 % предварительной термообработки. Термообработке подвергаются поковки разных наименований, с различной конфигурацией и массой от 1 до 80 кг из углеродистых, среднелегированных конструкционных сталей (сталь 35, 40, 45, 40Х).

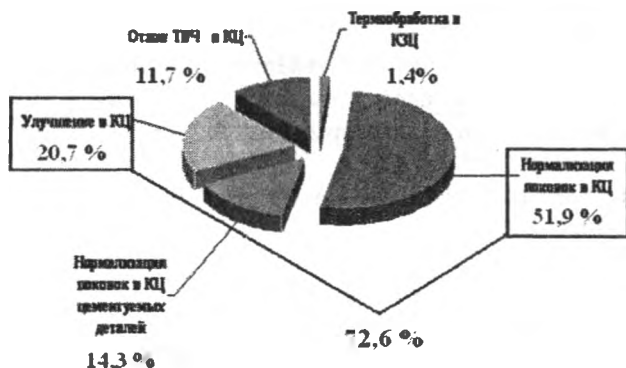


Рисунок 1 – Виды термообработки поковок на ОАО «МАЗ» [3]

Анализ тенденций развития энергосберегающих технологий термической обработки свидетельствует, что проводимые в настоящее время мероприятия по энергосбережению, как правило, направлены на создание нового энергосберегающего термического оборудования и его полную или частичную модернизацию. Вопросы оптимизации режимов и технологий термической обработки с целью энергосбережения недостаточно освещены, что требует выполнения самостоятельного комплекса исследовательских и опытно-промышленных работ.

На Минском автомобильном заводе в рамках ГТПНИ «Металлургия» были проведены исследования, направленные на изыскание

резервов экономии энергоресурсов в процессе термической обработки стальных деталей, и разработаны энерго- и ресурсосберегающие мероприятия, включающие:

- 1) технико-экономический анализ резервов экономии энергоресурсов в процессе термической обработки;
- 2) оптимизацию режимов термической обработки, рациональную замену видов термической обработки на менее энергоемкие при сохранении требуемого уровня механических и эксплуатационных свойств получаемых деталей;
- 3) анализ традиционных видов термической обработки с позиций энергосбережения.

Для деталей, которые в процессе изготовления подвергаются различным видам технологических операций, связанных с многократным нагревом, прогнозирование заданных свойств конечной детали следует начинать на самых первых стадиях её изготовления. Это касается, в первую очередь, процессов регулирования скоростей термического воздействия нагрева, выдержки и охлаждения:

- регулирование температурно-временных параметров режимов термической обработки с учетом влияния на изменение структуры и механических свойств;
- применение предварительной термической обработки с использованием температуры концаковки при проведении горячей обработки давлением с последующим высоким отпускком;
- регулирование скоростей охлаждения стальных деталей после операций горячей обработки;

- 4) разработку и согласование рекомендаций по снижению энергопотребления при термической обработке стальных деталей.

Существуют определенные ограничения резервов экономии энергоресурсов в процессе термической обработки стальных деталей. Анализ номенклатуры стальных деталей кузнечного производства ОАО «МАЗ» позволил сформулировать некоторые требования к деталям с точки зрения возможности регулирования скоростей термического воздействия нагрева, выдержки и охлаждения:

- простая геометрическая форма деталей с незначительным переходом по сечению и толщиной  $\leq 100$  мм.
- детали должны быть изготовлены из среднеуглеродистых и низколегированных сталей с теплопроводностью не менее

40 Вт/(м·К) для уменьшения температурного градиента по сечению при нагреве;

- детали по заводской технологии должны подвергаться закалке и высокому отпуску;

- объемы производства указанных деталей должны быть значительными для эффективности энергосберегающих мероприятий (крупносерийное, массовое производство).

К этим деталям из проанализированной номенклатуры стальных деталей кузнечного производства ОАО «МАЗ» относятся: гайка (сталь 40) размером  $\varnothing 118 \times 15$  мм, головка штанги (сталь 35) –  $\varnothing 185 \times 85$  мм, рычаг (сталь 40) –  $\varnothing 30 \times 14 \times 85$  мм, стакан (сталь 40) –  $\varnothing 169 \times 59$  мм, палец (сталь 40X) –  $\varnothing 84 \times 200$  мм.

На основании разработанных энерго- и ресурсосберегающих мероприятий на ОАО «МАЗ» были проведены экспериментальные работы по оптимизации режимов и технологий термической обработки выбранных стальных деталей [4]. На детали палец из стали 40X изучено влияние фактора уменьшения времени нагрева при закалке на структуру и механические свойства.

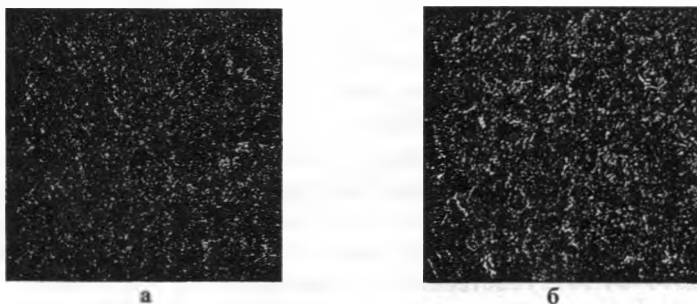
Время нагрева определяется, в основном, не временем выравнивания температуры по сечению детали (кроме случая крупногабаритных деталей, когда медленный или ступенчатый нагрев необходим для предотвращения деформации и/или растрескивания), а временем, необходимым для достаточно полного протекания диффузионных процессов. Эта стадия операции термообработки является наиболее длительной и, следовательно, самой энергоемкой, поскольку происходящие во время изотермической выдержки физико-химические и структурные превращения лимитируются весьма медленным процессом – гомогенизирующей (выравнивающей) диффузией углерода и железа по толщине зародыша.

Анализ структур после термической обработки некоторых деталей из среднеуглеродистых сталей показал, что в процессе нагрева под закалку детали зачастую перегреваются. Известно, что с увеличением температуры нагрева диффузионные процессы, происходящие в сталях, ускоряются. Время выдержки в этом случае существенно меньше. Была отобрана партия деталей, которые подвергли закалке по различным режимам (с уменьшением времени нагрева на 20, 30, 40 и 50 %).

Время нахождения изделий в печи, с одной стороны, должно обеспечивать завершение фазовых превращений, а с другой – не должно быть слишком большим, чтобы не вызвать обезуглероживания поверхностных слоев и роста зерна аустенита стали. Недостаточная выдержка может привести к неполной закалке, которая приводит к сохранению в структуре закаленной стали кристаллов доэвтектоидного феррита. Из-за низкой твердости феррита твердость стали после закалки будет неоднородна и существенно понижена.

При сокращении времени нагрева до 40 % в структуре закаленной стали феррита выявлено не было, что свидетельствует о том, что при температуре закалки все детали имели 100%-ю аустенитную структуру и все диффузионные процессы были завершены в полном объеме.

После закалки деталей был выполнен высокий отпуск. Структура деталей после высокого отпуска с уменьшением времени нагрева до 40 % представляет собой сорбит с твердостью 240–255 НВ (рисунок 2, а). Структура деталей после высокого отпуска с уменьшением времени нагрева свыше 40 % представляет собой сорбит + + участки феррита (рисунок 2, б).



а – уменьшение времени нагрева при закалке до 40 %; б – уменьшение времени нагрева при закалке свыше 40 %

Рисунок 2 – Микроструктура стали 40Х после высокого отпуска,  $\times 500$  [4]

Прочность составляла 825 МПа, ударная вязкость – 160 Дж/м<sup>2</sup>, твердость – НВ 235. При этом механические свойства изделий не снизились. При уменьшении времени выдержки до 40 % расход природного газа на нагрев одной партии детали 64221-2979030 – «палец» из стали 40Х сокращается до 35 %. На основании выпол-

ненных исследований была разработана технологическая инструкция ТИ АТЮФ 530.00.12 «Энергосберегающая оптимизация термической обработки детали 64221-2979030 «палец» от 17.12.2009.

Совместно с сотрудниками ОАО «МАЗ» проведены экспериментальные работы по выбору оптимальных режимов предварительной закалки с температур ковки при проведении горячей обработки давлением с последующим высоким отпускком и исследование формируемых структур и твердости заготовок. Проведенные полупромышленные испытания показали, что продолжительность термической обработки с использованием предложенного варианта технологии уменьшается на 10–20 % [5]. На основании выполненных исследований поданы заявки на изобретения («Устройство для охлаждения металлических изделий» № а 20101850 от 20 декабря 2010 г.; «Способ закалки металлических изделий» № а20101800 от 14 декабря 2010 г.).

Оптимизация режимов термической обработки поковок рычагов позволила отказаться от выполнения дополнительных термических операций [2]. На ОАО «МАЗ» при работе на старом оборудовании для получения стабильных свойств множества кованых (18 наименований) рычагов из стали 40ХН выполняли сложную термическую обработку, состоящую из нормализации для предварительной подготовки структуры и последующего улучшения для окончательного формирования структуры и свойств.

Комплекс выполненных работ [2] позволил научно обосновать и экспериментально подтвердить целесообразность исключения операции нормализации для номенклатуры рычагов (18 наименований) из стали 40ХН в кузнечном цехе ОАО «МАЗ». При этом экономический эффект от использования результатов за семь месяцев (10.2010–04.2011) составил 14,4 млн. руб.

Современное оборудование для предварительной термообработки поковок, имеющее высокую точность распределения температуры по всему объему печного пространства, регулируемое охлаждение садов, полная автоматизация процесса создает широкие перспективы для оптимизации режимов предварительной термообработки. Оптимизация и точное соблюдение технологических параметров позволяют сократить длительность и температуру операций термообработки, или вывести отдельные операции из техно-

логического процесса, заменить более энергоемкие технологические процессы улучшения на процесс регулируемой нормализации.

Проведенные на ОАО «МАЗ» работы свидетельствуют о необходимости поэтапного пересмотра технологических процессов для деталей автотехники, имеющих промежуточные виды термообработки. Кроме того, высокая точность регулировки по зонам печи  $\pm 5^\circ\text{C}$  позволяет снизить технологическую температуру до требуемой по ГОСТ для различных марок сталей. Опыт Минского автомобильного завода может быть рекомендован для многих машиностроительных предприятий республики.

### **Литература**

- 1. Постановление** Совета Министров Республики Беларусь от 31 октября 2007 г. № 1421 «Об утверждении Программы технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств на 2007–2010 гг.» с изм. и доп. от 9.06.2010. – Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2010 г., № 144, 5/32011.
- 2. Энергосберегающее** совершенствование термической обработки поковок грузовой автотехники / В.М. Константинов [и др.] // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.: в 2 ч.* – Минск: БНТУ, 2011. – Вып. 33, ч. 2. – С. 28–38.
- 3. Энергосберегающая** оптимизация термической обработки поковок в процессе металлургического передела в условиях кузнечного производства МАЗа: отчет о НИР (заключ.) / БНТУ; рук. темы В.М. Константинов. – Минск, 2010. – 175 с. – № ГР 20081081.
- 4. Константинов, В.М.** Исследование особенностей формирования структуры конструкционных сталей с позиций энергосбережения при термической обработке / В.М. Константинов, Э.Д. Щербаков, Т.Н. Синиченко // *Литье и металлургия.* – 2010. – 4 (58). – С. 171–175.
- 5. Гурченко, П.С.** Пути ресурсосбережения при изготовлении поковок деталей машиностроения / П.С. Гурченко, А.А. Солонович, Т.Н. Синиченко // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.: в 2 ч.* – Минск: БНТУ, 2011. – Вып. 33, ч 1. – С.62–72.